

Pengukuran Waktu Tunda (*Time Delay*) pada Dua Sinyal dengan *Cross Correlation Function* (CCF)

ERRY KORIYANTI

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

INTISARI: Pengukuran waktu tunda pada sinyal pengukuran sering menjadi hal yang penting dalam keakuratan suatu pengukuran. Selama ini masih banyak digunakan pengukuran secara manual (langsung pada grafik sinyal) untuk mendapatkan waktu tunda. Dengan menggunakan *cross correlation function* (CCF), diharapkan hasil pengukuran menjadi lebih akurat. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan beberapa data uji untuk menguji kemampuan program. Selanjutnya, data dari pengukuran langsung dengan CCF menghasilkan nilai waktu tunda kedua sinyal. Hasil pengukuran yang diperoleh mempunyai simpangan 1,68%.

KATA KUNCI: waktu tunda, *cross correlation function*(CCF)

ABSTRACT: The measurement of the delay time of measurement signal has become an important aspect on measurement accuracy. Manual measurement has been commonly used to obtain the delay time (directly on signal graphic). By using the cross-correlation function (CCF), it is hoped that the measurement result becomes more accurate. This research used several test data to observe the program performance. Finally, from direct measurement by using CCF will produce the time delay of both signals. The result will have error value for about 1,68%.

KEYWORDS: time delay, cross correlation function (CCF)

E-MAIL: ekoriyanti@yahoo.com

Januari 2009

1 PENDAHULUAN

Dewasa ini, pengukuran waktu tunda suatu sinyal sangat banyak digunakan pada berbagai macam peralatan, misalnya peralatan di bidang ilmu bumi seperti pencatat kekuatan gempa, pengukur kedalaman laut, dan berbagai peralatan lain yang menggunakan suara khususnya ultrasonik. Pengukuran waktu tunda juga telah dimanfaatkan untuk memprediksi viskositas biodiesel dengan metode ultrasonik^[1].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran waktu tunda untuk mengukur ketebalan bahan atau material. Pengukuran ini menjadi penting karena diperlukan hasil yang akurat pada pengukuran waktu tunda agar pengukuran ketebalan bahan menjadi akurat juga.

Permasalahannya adalah bagaimana mengukur waktu tunda (*time delay*) sinyal keluaran terhadap sinyal yang diterima oleh sensor dengan metode *cross correlation function* (CCF). Penelitian ini dibatasi hanya pada pengolahan data sinyal dari sensor, sehingga diperoleh besarnya waktu tunda.

Metode di atas dapat digunakan sebagai pembandingan hasil untuk alat *time delay analyzer* yang ada di-

pasaran. Di samping itu, juga dapat digunakan pada banyak pengukuran yang menggunakan sensor suara, sensor ultrasonik, maupun beberapa alat eksperimen lainnya, yang membutuhkan pengukuran pergeseran waktu untuk mendapatkan besaran yang diinginkan.

2 DASAR TEORI

2.1 Prinsip Dasar *Cross Correlation*

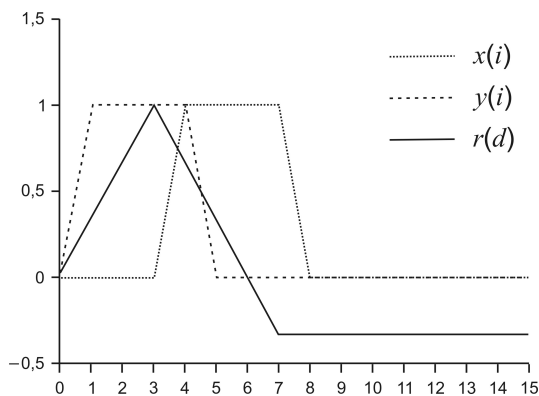
Cross correlation merupakan metode standar untuk mengestimasi sudut (*degree*) dari dua buah barisan/deret data (*series*) berkorelasi^[2]. Untuk dua buah deret $x(i)$ dan $y(i)$ dengan $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$, nilai *cross correlation* (r) setelah tunda d dinyatakan sebagai:

$$r(d) = \frac{\sum_i (x(i) - mx)(y(i-d) - my)}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i-d) - my)^2}} \quad (1)$$

dengan mx dan my adalah nilai rerata masing-masing barisan data. Pendekatan yang biasa dilakukan adalah dengan mengabaikan nilai ini atau mengasumsikan deret x dan y bernilai nol untuk $i < 0$ dan $i \geq N$.

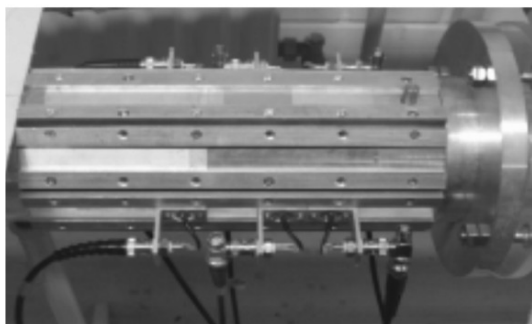
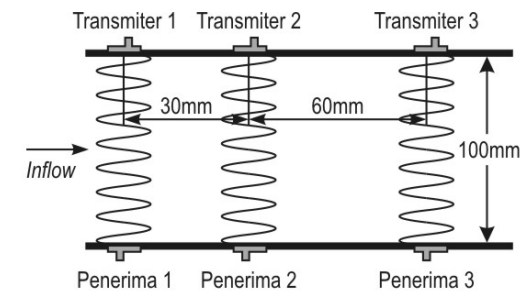
Dalam banyak aplikasi pemrosesan sinyal, deret diasumsikan melingkar (*circular*), misalnya $x(-1) = x(N-1)$, $x(N+5) = x(5)$ dsb. Jangkauan tunda d dan panjang *cross correlation series* dapat bernilai kurang dari N .

Contoh sederhana yang menggambarkan 2 pulsa yang terdapat pergeseran waktu ditunjukkan oleh titik-titik dan garis putus-putus pada Gambar 1, sedangkan garis mulus menunjukkan nilai korelasinya. Pada gambar itu juga terlihat bahwa nilai maksimum korelasi didapat pada saat waktu tunda 3 satuan waktu.

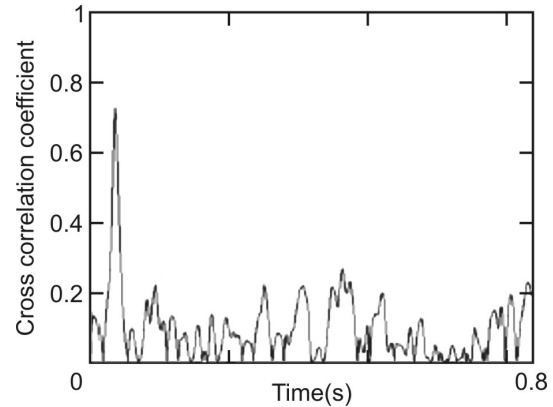


GAMBAR 1: Contoh sederhana *cross correlation*^[2]

2.2 Pengukuran Cross correlation



GAMBAR 2: Skema dan gambar aplikasi pengukuran dengan *cross correlation*^[4]



GAMBAR 3: Hasil dari CCF antara S1 dan S2^[2]

Nilai maksimum yang identik antara dua sinyal dari setiap 2 jalur dihitung dengan menggunakan persamaan matematika *cross-correlation function* (CCF),

$$\Phi_{s1s2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s_1(t) s_2(t - \tau) dt. \quad (2)$$

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juli sampai Desember 2006, bertempat di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya Kampus Unsri Inderalaya dan Laboratorium Ultrasonik Teknik Fisika ITB.

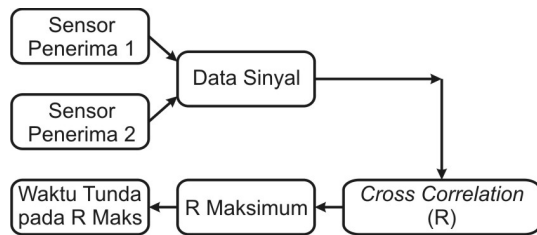
3.2 Peralatan dan Bahan

1. Data rekaman sinyal ultrasonik hasil penelitian pengukuran kecepatan dan atenuasi bahan (material) dari Lab. Ultrasonik ITB Bandung.
2. Sinyal acak yang dibangkitkan sendiri melalui program Matlab (sebagai observasi)
3. Komputer PC dengan fasilitas *parallel port* DB25.
4. Perangkat lunak Matlab sebagai pengolah sinyal.

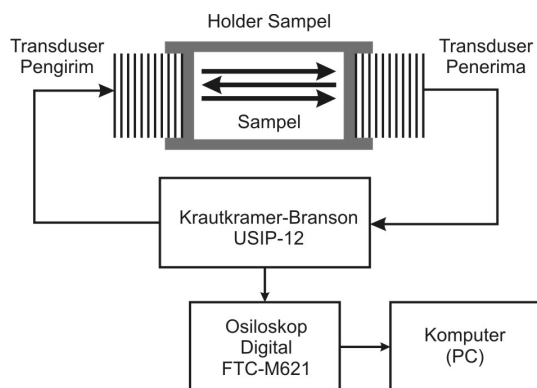
3.3 Metode

Penelitian ini dilakukan dengan cara memproses sinyal ultrasonik dari Lab. Ultrasonik ITB. Data mentah yang didapat merupakan data sinyal tegangan terhadap waktu. Waktu tunda didapat dengan mengolah data rekaman sinyal dari kedua pasang transduser. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

Krautkramer-Branson USIP 12 merupakan pembangkit gelombang sekaligus pemroses sinyal dan osiloskop. Instrumen pembangkit sinyal yaitu USIP 12



GAMBAR 4: Diagram alir pengukuran waktu tunda



GAMBAR 5: Diagram alir pengambilan data ultrasonik

mengeluarkan pulsa pemicu pada saat awal pengukuran. Transduser pengirim mengubah sinyal listrik dari generator menjadi sinyal akustik dengan frekuensi 4 MHz. Gelombang yang dihasilkan akan merambat melalui medium dan diterima oleh transduser penerima. Transduser penerima kemudian mengubah kembali gelombang akustik yang diterimanya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian dikirim ke USIP 12 untuk diolah dan ditampilkan. Gambar 6 menunjukkan perangkat keseluruhan.



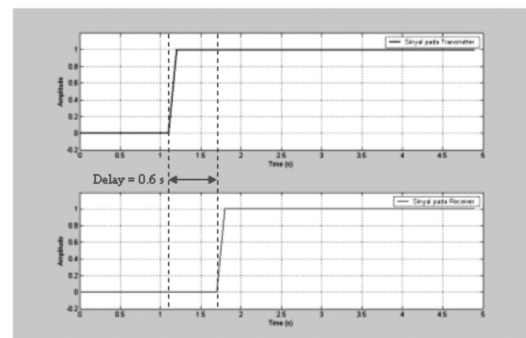
GAMBAR 6: Perangkat pengambilan data ultrasonik

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

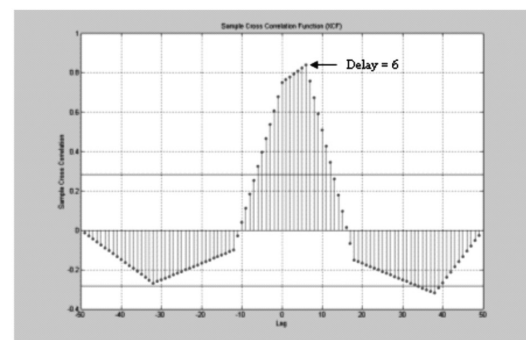
4.1 Data Simulasi Komputer

TABEL 1: Bentuk sinyal masukan

No	Bentuk Sinyal	Keterangan
1	Step	Observasi
2	Impuls	Observasi
3	Burst	Observasi
4	Sinusoida	Observasi
5	Data Laboratorium	Data Uji



(a)



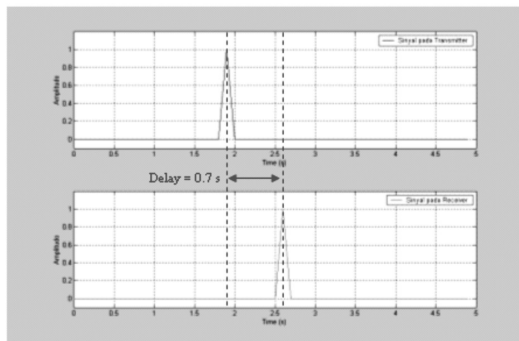
(b)

GAMBAR 7: (a) Sinyal bentuk step yang diukur waktu tunda-nya, (b) Hasil korelasi dengan CCF

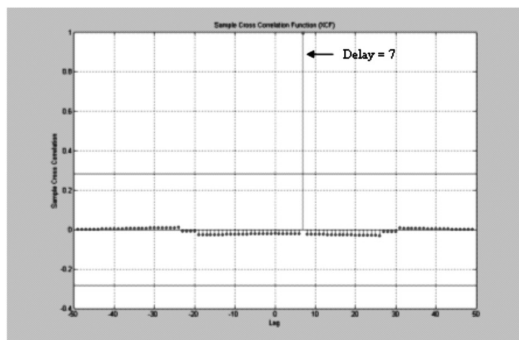
Sinyal fungsi step Sinyal uji pertama yang dicoba berbentuk step, yang sinyal kedua dikondisikan mempunyai waktu tunda sebesar 0,6 s dari sinyal pertama (Gambar 7a). Hasil pengukuran dengan CCF menghasilkan pengukuran dengan korelasi maksimum pada $R = 6$ (Gambar 7b). Dengan nilai setiap *time step* 0,1 s, hasil pengukuran dengan CCF mendapatkan nilai sebesar 0,6 s.

Sinyal fungsi impuls Untuk pengujian program dengan menggunakan sinyal berbentuk impuls (Gambar 8a), hasil korelasi yang didapat cukup baik. Sinyal yang telah diatur waktu tundanya sebesar 0,7s mampu diukur dengan program CCF; hasilnya juga sebesar 0,7 s. Hasil itu diperoleh dengan nilai korelasi maksimum sebesar $R = 7$ dan setiap *time step* bernilai 0,1s

(Gambar 8b).



(a)



(b)

GAMBAR 8: (a) Sinyal bentuk impulse yang diukur waktu tunda-nya, (b) Hasil korelasi dengan CCF

Sinyal fungsi burst Bentuk sinyal lain yang cukup sulit untuk dideteksi besarnya waktu-tunda-nya adalah bentuk fungsi *burst*. Dua buah sinyal dengan waktu tunda yang telah diketahui sebesar 0.01 s ditampilkan dalam Gambar 9a. Analisis dengan CCF memberikan hasil sebesar R maksimum pada lag 10 (Gambar 9b dan 9c) dengan nilai setiap lag sebesar 0.001 s, sehingga kedua sinyal mempunyai waktu tunda sebesar 0.01 s dan hasil ini sama dengan waktu tunda yang telah diketahui.

Sinyal fungsi sinusoida Sinyal selanjutnya yang diobservasi adalah bentuk sinusoida. Untuk sinyal ini, waktu tunda gelombang sulit dideteksi (Gambar 10a). Sulitnya menentukan posisi awal gelombang dikarenakan bentuk sinyal yang secara kasat mata cenderung sama menyebabkan pengukuran secara manual tidak bisa dilakukan. Selanjutnya, waktu tunda diukur dengan CCF. Hasil yang didapat terlihat pada Gambar 10b.

Dari Gambar 10 terlihat bahwa korelasi maksimum didapat dengan bobot yang tidak terlalu jauh perbedaannya terhadap nilai waktu tunda yang lain. Dengan perbesaran (Gambar 10c) diperoleh bahwa ko-

TABEL 2: Hasil pengukuran untuk keseluruhan sinyal yang diukur baik dengan cara manual maupun dengan cara *cross correlation function* (CCF)

Fungsi Sinyal	Peng. Manual	CCF		
		Lag	T_{Step}	T_{delay}
Step	0,6s	6	0,1	0,6
mpuls	0,7s	7	0,1	0,7
Burst	0,01s	10	0,001	0,001
Sinusoida	N/A	25	1	25
Data Lab.	$\pm 35s$	3441	0,001	3441

relasi maksimum didapat pada lag 25, yang setiap lag-nya bernilai 1 s, waktu tunda-nya sebesar 25 s.

4.2 Data Pengukuran Laboratorium

Pengujian terhadap aplikasi *Cross Correlation Function* (CCF) ini dilakukan pada pengukuran waktu tunda dua buah sinyal ultrasonik yang di ukur seperti pada Gambar 5.

Sama seperti pada data uji, data pengukuran laboratorium dapat diukur waktu tunda-nya secara manual melalui pengukuran kasat mata pada grafik (Gambar 11a). Hasil yang didapat sebesar 3,5 s. Selanjutnya dengan memanfaatkan CCF didapatkan hasil korelasi maksimum sebesar 3441 lag, yang setiap lag-nya bernilai 0,001 s, sedangkan waktu tunda kedua sinyal tersebut, sebesar 3,441 s. Jadi hasil pengukuran menggunakan CCF ini mempunyai simpangan sebesar 1,68% dibanding hasil pengukuran manual. Hasil ini lebih dapat dipertanggung jawabkan karena tidak dipengaruhi oleh faktor kesalahan manusia (penglihatan) dalam mengukur.

Akhirnya pada beberapa uji coba pada sinyal yang sudah diketahui besar waktu tunda nya, menunjukkan hasil yang cukup akurat, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2

Terlihat bahwa pengukuran pada data uji memberikan hasil yang cukup akurat. Kelebihan CCF ditunjukkan pada pengukuran yang menggunakan fungsi sinyal sinusoida.

5 SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

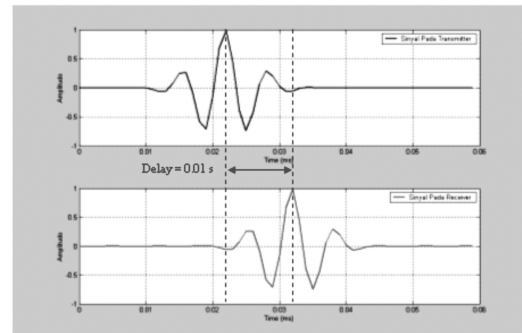
1. Pengukuran waktu tunda dengan menggunakan *cross correlation function* (CCF) memberikan hasil yang cukup akurat.
2. Kelebihan (*advantage*) CCF adalah pada kemampuan pengukuran waktu tunda dengan fungsi sinusoida yang secara manual sangat sulit ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

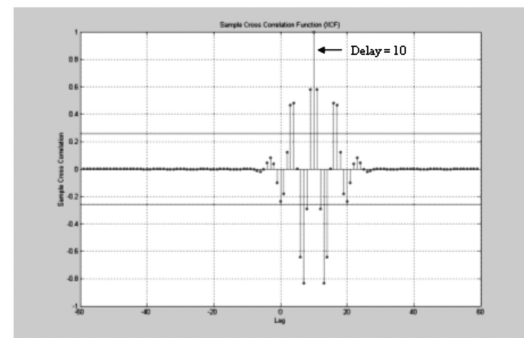
Terima kasih saya ucapkan kepada Saudara Hadi, M.T. yang telah banyak membantu dalam penelitian ini, serta Jurusan Fisika FMIPA UNSRI yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian di Lab. Elektronika & Instrumentasi.

DAFTAR PUSTAKA

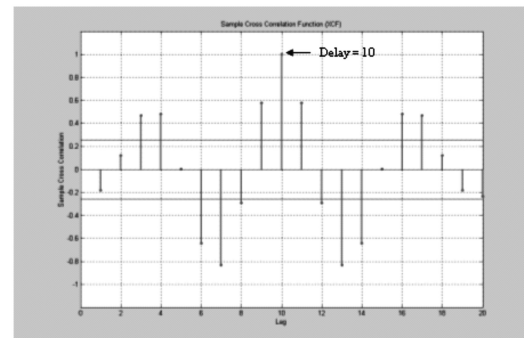
- [1] Nurmalia, 2006, Prediksi Viskositas Dan Kompresibilitas Biodiesel Dengan Metode Ultrasonik, *Tugas Akhir*, Teknik Fisika, Institut Teknolgi Bandung,
- [2] <http://astronomy.swin.edu.au/pbourke/other/correlate>, diakses pada Januari 2006
- [3] Trisnobudi, A., 2001, *Instrumentasi Ultrasonik*, Penerbit ITB, Bandung
- [4] Lin, Y., 2004, Signal Processing and Experimental Technology in Ultrasonic Flow Measurement, *Granted Dissertation*



(a)

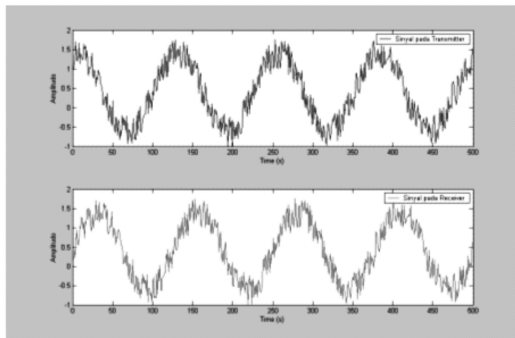


(b)

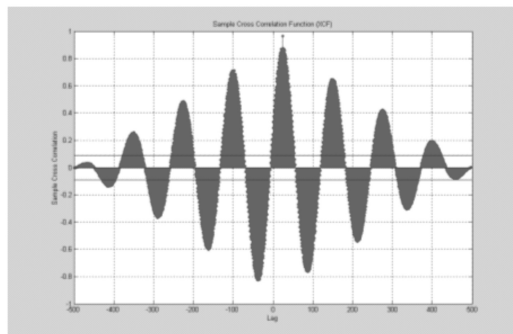


(c)

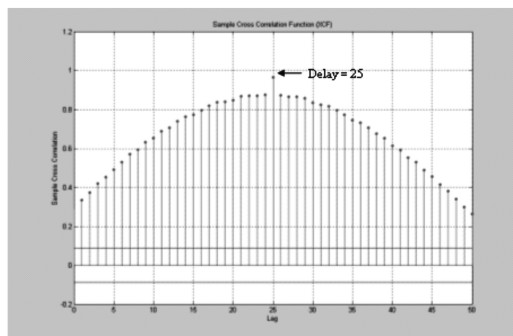
GAMBAR 9: a) Sinyal bentuk *burst* yang diukur waktu tunda-nya, (b) hasil korelasi dengan CCF, (c) CCF dengan skala horizontal yang diperbesar



(a)

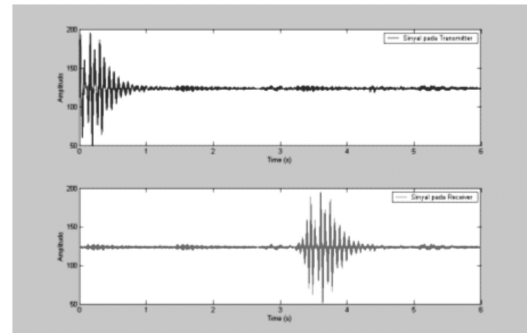


(b)

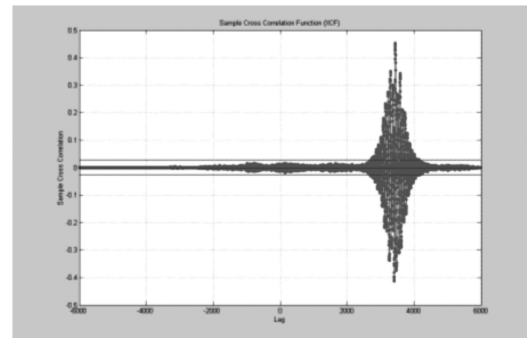


(c)

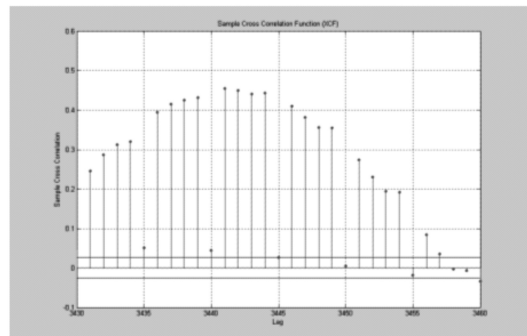
GAMBAR 10: (a) Sinyal bentuk sinusoida yang diukur waktu tunda-nya, (b) hasil korelasi dengan CCF, (c) CCF dengan skala horizontal yang diperbesar



(a)



(b)



(c)

GAMBAR 11: (a) Data laboratorium yang diukur waktu tunda-nya, (b) hasil korelasi dengan CCF, (c) CCF dengan skala horizontal yang diperbesar